

KONSENTRASI URANIUM, THORIUM DAN KALIUM DALAM BERBAGAI PRODUK SEMEN YANG DIPASARKAN DI INDONESIA*

Rasito¹, Zulfakhri¹, Putu Agus Arianta², dan Ade Suherman¹

¹ Pusat Teknologi Nuklir Bahan dan Radiometri, BATAN - Bandung

² Jurusan Fisika FMIPA Universitas Udayana - Bali

ABSTRAK

KONSENTRASI URANIUM, THORIUM, DAN KALIUM DALAM BERBAGAI PRODUK SEMEN YANG DIPASARKAN DI INDONESIA. Telah dilakukan pengukuran konsentrasi radionuklida alam yaitu uranium, thorium, dan kalium dalam semen menggunakan metode spektrometri sinar- γ . Sembilan cuplikan semen yang diambil dari delapan perusahaan produksi semen di Indonesia telah dianalisis kandungan radionuklida alamnya. Konsentrasi uranium ditentukan berdasarkan konsentrasi rata-rata ^{214}Pb dan ^{214}Bi , thorium menggunakan ^{212}Pb dan ^{228}Ac , dan kalium menggunakan ^{40}K . Pengukuran konsentrasi anak luruh dilakukan setelah sampel mencapai kesetimbangan. Dengan metode spektrometri sinar- γ diperoleh konsentrasi uranium 4,6 – 18 $\mu\text{g/g}$ dengan nilai rata-rata 8,8 $\mu\text{g/g}$, thorium 2,3 – 10,8 $\mu\text{g/g}$ dengan nilai rata-rata 4,8 $\mu\text{g/g}$, dan kalium 1638 - 6271 $\mu\text{g/g}$ dengan nilai rata-rata 4189 $\mu\text{g/g}$. Konsentrasi uranium di dalam semen tersebut termasuk tinggi dibandingkan hasil pengukuran di beberapa negara lain, sedangkan konsentrasi thorium dan kalium termasuk lebih rendah. Kontribusi dosis gamma dari semen termasuk rendah karena aktivitas radium ekuivalen (Ra_{eq}) yang diperoleh adalah 147 Bq/kg, sedangkan nilai batas dosis gamma untuk berbagai jenis material bangunan adalah 1,5 mSv per tahun yang setara dengan Ra_{eq} sebesar 370 Bq/kg.

Kata kunci: radionuklida alam, semen, spektrometri sinar- γ .

ABSTRACT

THE CONCENTRATIONS OF URANIUM, THORIUM, AND POTASSIUM IN VARIOUS CEMENT PRODUCTS MARKETING IN INDONESIA. The presence of natural radioactivity of nine samples from eight cement production companies in Indonesia have been analyzed. Natural radioactivity i.e uranium, thorium, and potassium in cements were determined using γ -rays spectrometry method. All nine samples were measured after equilibrium conditions. The concentration of uranium was determined from the average concentrations of the ^{214}Pb and ^{214}Bi , thorium was determined from the average concentrations of the ^{212}Pb and ^{228}Ac , and that of potassium was determined from concentration of the ^{40}K . The calculated uranium concentrations in cements were 4.6 – 18 $\mu\text{g/g}$ with a mean value of 8.8 $\mu\text{g/g}$, thorium 2.3 – 10.8 $\mu\text{g/g}$ with a mean value of 4.8 $\mu\text{g/g}$, and potassium 1638 - 6271 $\mu\text{g/g}$ with a mean value of 4189 $\mu\text{g/g}$. The uranium concentrations were higher than those of the world average value, meanwhile thorium and potassium concentrations were lower. The contribution of gamma-dose from cements were lower than dose limit for building material because the calculated radium equivalent (Ra_{eq}) activity was 147 Bq/kg, meanwhile the gamma-dose limit for building material was 1.5 mSv per year, that was equivalent to 370 Bq/kg (Ra_{eq}).

Key words: natural radionuclides, cement, γ -ray spectrometry

* Dipresentasikan pada Seminar Nasional Sains dan Teknologi Nuklir, 17-18 Juli 2007, BATAN - Bandung

1. PENDAHULUAN

Radionuklida alam yaitu uranium, thorium, dan kalium banyak terdapat dalam tanah dan batuan. Mineral uranium terdapat dalam kerak bumi pada semua jenis batuan terutama batuan granit dengan kadar 3–4 gram per 1 ton batuan. Pada umumnya uranium dalam batuan terdistribusi secara merata dan dapat dijumpai dalam bentuk mineral uranit maupun oksida kompleks euksinit betafit. Uranit merupakan mineral yang kandungan utamanya adalah uranium (80%) sedangkan *euksinit betafit* kandungan uraniumnya 20%. Uranium memiliki beberapa isotop dengan kelimpahan yang berbeda yaitu 99,275% (^{238}U), 0,72% (^{235}U), dan 0,005% (^{234}U) (1). Thorium terdapat dalam jumlah sedikit terutama dalam batuan dan tanah. Kandungan thorium di tanah sekitar 12 ppm dengan isotop terbanyak adalah ^{232}Th dengan kelimpahan 100 %. Kalium merupakan unsur logam alkali yang berwarna putih keperakan. Kalium di alam berada di mineral batuan yang umumnya dalam bentuk senyawa karbonat. Terdapat tiga isotop utama kalium yaitu ^{39}K (93,3%), ^{40}K (0,012%), dan ^{41}K (6,7%). Isotop ^{39}K dan ^{41}K adalah stabil, sedangkan ^{40}K bersifat radioaktif yang meluruh menjadi ^{40}Ca dan ^{40}Ar disertai pemancaran partikel beta dan sinar gamma (2).

Semen merupakan bahan bangunan yang dibentuk dari campuran unsur maupun senyawa yang diambil dari tanah dan batuan. Bahan campuran semen yang dikenal sekarang ini mengandung dua bahan utama yaitu batu kapur dengan senyawa terbesarnya adalah kalsium karbonat dan tanah liat yang terdiri dari

silikat, aluminium oksida. Komposisi kimia dalam semen adalah *trikalsium silikat* (Ca_3Si) 25%, *dikalsium silikat* (Ca_2Si) 20%, *trikalsium alumina* (Ca_3Al) 40%, *tetrakalsium aluminof* (Ca_4AlF) 3%, dan *gypsum* (CaCO_3) 2% (3). Karena bahan dasar semen diambil dari tanah dan batuan maka dimungkinkan di dalam semen juga terkandung radionuklida alam meskipun dalam jumlah kecil.

Sebagai salah satu bahan utama bangunan, keberadaan radionuklida alam di dalam semen akan memberikan bahaya radiasi eksternal dan internal terhadap penghuni bangunan. Bahaya radiasi eksternalnya adalah radiasi gamma yang dipancarkan dari masing-masing radionuklida, sedangkan bahaya internalnya adalah terhirupnya gas radon dan thoron yang merupakan gas radioaktif alam hasil peluruhan uranium dan thorium. Salah satu dampak radiologis dari terhirupnya gas tersebut adalah potensi timbulnya kanker paru-paru.

Untuk itu perlu dilakukan pembuktian kandungan radionuklida alam dalam semen serta pengukuran konsentrasinya sebagai data untuk menghitung potensi bahaya radiasi yang ditimbulkan. Beberapa metode dapat dilakukan untuk mengetahui konsentrasi radionuklida alam tersebut, salah satunya adalah spektrometri sinar- γ . Pengukuran konsentrasi dengan metode spektrometri sinar- γ relatif mudah dilakukan, karena selain anak luruh radionuklida alam umumnya merupakan pemancar sinar- γ , dalam metode ini juga tidak membutuhkan preparasi sampel yang rumit. Oleh karena itu pengukuran konsentrasi uranium,

thorium, dan kalium dilakukan dengan menggunakan spektrometri sinar- γ .

2. TATA KERJA

Penentuan konsentrasi uranium, thorium, dan kalium dalam semen dilakukan melalui tiga tahapan yaitu pencuplikan semen, pencacahan dengan spektrometer sinar- γ , dan perhitungan konsentrasi.

2.1. Pencuplikan semen

Cuplikan semen diambil dari delapan perusahaan produksi semen di Indonesia ditambah satu jenis semen putih. Cuplikan diambil masing-masing 1 kg.

Kesembilan cuplikan semen tersebut diayak dengan ayakan berukuran 40 mesh ($425\mu\text{m}$) dan dilanjutkan dengan ayakan berukuran 60 mesh ($250\mu\text{m}$). Pengayakan dimaksudkan untuk mengkondisikan cuplikan lebih homogen dan untuk mendapatkan ukuran butiran yang lebih kecil. Homogenitas dan ukuran butiran cuplikan akan mengurangi serapan diri sinar- γ oleh material cuplikan. Namun demikian serapan diri sinar- γ oleh material cuplikan hanya signifikan untuk energi gamma dibawah 400 keV (4).

Masing-masing cuplikan hasil pengayakan ditimbang dan diambil sebanyak 500 gram kemudian dimasukkan ke dalam wadah marinelli ukuran 500 mL. Wadah marinelli ditutup rapat menggunakan selotip sehingga tidak dimungkinkan ada udara (gas radon) yang keluar. Sebelum dilakukan pencacahan, cuplikan didiamkan terlebih dahulu selama tiga hingga empat pekan untuk mendapatkan kondisi kesetimbangan (4,5).

2.2.1. Pengukuran dengan spektrometer sinar γ

Cuplikan yang telah didiamkan selama empat minggu selanjutnya diukur radioaktivitasnya dengan menggunakan spektrometer sinar- γ . Dalam pengukuran radioaktivitas dengan spektrometer sinar- γ di lab bidang K2 PTNBR-BATAN Bandung digunakan detektor *high purity germanium* (HPGe) yang memiliki efisiensi 30 % relatif terhadap sintilator NaI(Tl) 3"x3", serta satu set *multichannel analyzer* (MCA). Resolusi energi atau *full width at half maximum* (FWHM) detektor diperoleh 1,87 keV pada energi 1,33 MeV yang merupakan energi transisi ^{60}Co . Untuk penampilan dan analisis spektrum digunakan *software* PCA II *Nucleus*. Untuk mendapatkan spektrum latar belakang atau kondisi tanpa cuplikan maka dilakukan pencacahan wadah marinelli kosong selama 40.000 detik. Dari pencacahan diperlihatkan bahwa konsentrasi ^{238}U , ^{232}Th , dan ^{40}K dibawah nilai minimum aktivitas yang dapat terdeteksi (MDA) alat. Nilai MDA pencacahan selama 40.000 detik untuk pengukuran ^{238}U dan ^{232}Th adalah sama yaitu 0,6 Bq/kg; sementara untuk ^{40}K adalah 1,9 Bq/kg.



Gambar 1. Spektrometer sinar- γ di lab cacah bidang K2 PTNBR-BATAN, Bandung.

Pengukuran radioaktivitas dilakukan dengan menempatkan cuplikan dalam detektor HPGe. Cuplikan dicacah selama 40.000 detik (± 11 jam) dan tiap cuplikan dicacah sebanyak tiga kali. Perlakuan ataupun kondisi cuplikan saat pencacahan dibuat mendekati dengan kondisi kalibrasi efisiensi menggunakan sumber standar. Karena spektrometri sinar- γ merupakan metode pengukuran relatif maka untuk identifikasi jenis nuklida dan pengukuran radioaktivitasnya diperlukan adanya kalibrasi pada spektrometer, yaitu kalibrasi energi dan kalibrasi efisiensi menggunakan sumber standar.

2.2.1. Kalibrasi energi

Kalibrasi energi pada MCA, dimaksudkan untuk mengubah cacahan sebagai fungsi kanal (*channel*) menjadi cacahan sebagai fungsi energi. Untuk melakukan kalibrasi energi digunakan sumber standar titik multi energi yang berisi nuklida ^{241}Am (59,5 keV); ^{137}Cs (661,6 keV); dan ^{60}Co (1173 keV dan 1332 keV) ⁽³⁾. Hasil kalibrasi energi selanjutnya digunakan untuk mengidentifikasi keberadaan nuklida ^{214}Pb (352 keV), ^{214}Bi (609 keV), ^{228}Ac (911 keV), ^{212}Pb (238 keV), dan ^{40}K (1460 keV).

2.2.2. Kalibrasi efisiensi

Kalibrasi efisiensi dilakukan untuk mengetahui efisiensi cacahan detektor untuk energi gamma yang dipancarkan dari masing-masing nuklida. Nilai efisiensi cacahan detektor yang diperoleh untuk masing-masing energi gamma selanjutnya digunakan untuk menghitung konsentrasi kedua nuklida di dalam cuplikan. Untuk

dapat melakukan kalibrasi efisiensi dibutuhkan sumber standar dengan kondisi pencacahan yang sama, yaitu wujud, geometri, energi gamma yang dipancarkan, dan waktu pencacahan yang sama dengan cuplikan. Untuk kalibrasi efisiensi digunakan material standar IAEA dengan kode RGTh-1 (Th, U, dan K), RGU-1 (U), dan RGK-1 (K) dengan konsentrasi unsur diperlihatkan pada Tabel 1. Material standar digunakan untuk menentukan nilai efisiensi untuk masing-masing energi gamma dari nuklida anak luruh yang akan diidentifikasi.

Tabel 1. Konsentrasi U, Th, dan K di material standar IAEA RGTh-1, RGU-1, dan RGK-1

No.	Kode	Unsur	Konst. ($\mu\text{g/g}$)
1.	RGTh-1	Th	800
		U	6,3
		K	200
2.	RGU-1	U	400
3.	RGK-1	K	448000

2.2.3. Konsentrasi ^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{228}Ac , ^{212}Pb , dan ^{40}K

Radionuklida ^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{228}Ac , ^{212}Pb , dan ^{40}K di cuplikan diidentifikasi berdasarkan nilai (puncak) energi dalam spektrum sinar- γ . Puncak dari nuklida ^{214}Pb cukup banyak, namun puncak yang paling tinggi adalah pada energi 352 keV, dengan kelimpahan gamma terbesar yaitu 37 %. Sementara puncak tertinggi untuk ^{214}Bi adalah pada energi gamma 609 keV dengan kelimpahan gamma 44,9 % (3). Energi yang digunakan untuk mengidentifikasi nuklida ^{228}Ac cukup banyak. Namun puncak yang paling tinggi adalah pada energi 911 keV karena kelimpahan gammanya yang paling besar yaitu 25 %. Sementara energi gamma

untuk ^{212}Pb digunakan 238 keV dikarenakan kelimpahannya yang paling besar yaitu 43 %. Untuk identifikasi ^{40}K digunakan energi gamma 1460 keV dengan kelimpahan 10,7 %. Masing-masing puncak energi yang ditampilkan pada spektrum selanjutnya digunakan untuk menghitung aktivitas ^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{228}Ac , ^{212}Pb , dan ^{40}K . Konsentrasi nuklida anak luruh (A) tersebut dihitung menggunakan persamaan;

$$A = \frac{cps}{\varepsilon \cdot I_{\gamma} \cdot m} \quad (\text{Bq/kg}), \quad (1)$$

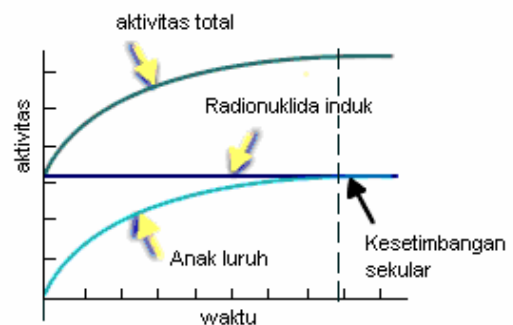
dengan cps adalah cacah per detik yang ditampilkan oleh MCA, ε adalah nilai efisiensi dari masing-masing energi berdasarkan hasil kalibrasi efisiensi, I_{γ} adalah kelimpahan sinar- γ dari masing-masing puncak energi kedua nuklida, dan m adalah massa cuplikan.

2.3. Perhitungan konsentrasi U, Th, dan K

Konsentrasi U ditentukan dari hasil perhitungan konsentrasi ^{238}U yang didasarkan pada nilai rata-rata konsentrasi ^{214}Pb dan ^{214}Bi . Konsentrasi Th ditentukan dari hasil perhitungan konsentrasi ^{232}Th yang didasarkan pada nilai rata-rata konsentrasi ^{228}Ac dan ^{212}Pb . Adapun konsentrasi K ditentukan berdasarkan nilai konsentrasi ^{40}K yang langsung diperoleh dari hasil pencacahan.

Penentuan konsentrasi ^{238}U dan ^{232}Th dari nilai rata-rata konsentrasi anak luruhnya adalah berdasarkan asumsi bahwa telah terjadi kesetimbangan sekular pada cuplikan (5). Dalam peluruhan radionuklida dengan umur paro yang jauh lebih panjang dibandingkan nuklida anak luruhnya akan

mengalami kesetimbangan sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 2. Dengan lamanya umur bumi maka konsentrasi uranium dengan radium dianggap telah setimbang. Sementara kesetimbangan radium dengan anak luruhnya (radon) pada keadaan normal sulit tercapai karena sifat radon yang berwujud gas yang mudah lepas ke udara ketika terbentuk. Untuk mendapatkan kondisi setimbang antara uranium, radium, radon, dan anak luruhnya maka wadah cuplikan harus diutup rapat sehingga tidak dimungkinkan gas radon dapat keluar. Perlakuan ini akan menghasilkan kesetimbangan dalam peluruhannya sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Kesetimbangan sekular pada peluruhan nuklida umur panjang.

Konsentrasi ^{238}U dan ^{232}Th (A_T) dari dua anak luruhnya masing-masing dapat diperoleh dengan menghitung konsentrasi rata-rata anak luruhnya yang dirumuskan dengan ;

$$A_T = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n A_i \quad (\text{Bq/kg}), \quad (2)$$

dengan A_i adalah konsentrasi anak luruh ke- i ($i=1,2,3,\dots,n$).

Konsentrasi ^{238}U , ^{232}Th , dan ^{40}K yang diperoleh selanjutnya digunakan untuk menghitung konsentrasi U, Th, dan K. Konsentrasi atau fraksi (F) unsur U, Th, dan K dari hasil perhitungan konsentrasi ^{238}U , ^{232}Th , dan ^{40}K diperoleh menggunakan persamaan (5):

$$F = \frac{M \cdot C}{\lambda \cdot N_A \cdot f} \cdot A_T \quad (\mu\text{g/g}), \quad (3)$$

dengan M adalah massa atom (kg/mol), C adalah konstanta konversi (10^6), λ adalah konstanta peluruhan, N_A adalah bilangan Avogadro ($6,03 \times 10^{23}$ atom/mol), dan f adalah kelimpahan isotop ^{238}U , ^{232}Th , dan ^{40}K di alam. Satuan untuk fraksi unsur dalam persamaan (3) adalah $\mu\text{g/g}$ atau biasa juga dituliskan dengan ppm.

2.4. Perhitungan Radium ekivalen

Radium ekivalen (Ra_{eq}) merupakan nilai aktivitas yang menghasilkan dosis gamma yang sama. Aktivitas Ra_{eq} dihitung menggunakan persamaan yang diperoleh Beretka dan Mathew sebagai berikut (4):

$$Ra_{eq} = A_{Ra} + 1.43A_{Th} + 0.077A_K, (\text{Bq/kg}) \quad (4)$$

dengan A_{Ra} , A_{Th} , dan A_K adalah konsentrasi aktivitas ^{238}U , ^{232}Th , dan ^{40}K . Persamaan (4) didasarkan pada perkiraan bahwa 370 Bq/kg untuk ^{238}U , 259 Bq/kg untuk ^{232}Th , dan 4810 Bq/kg untuk ^{40}K akan menghasilkan dosis gamma yang sama.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

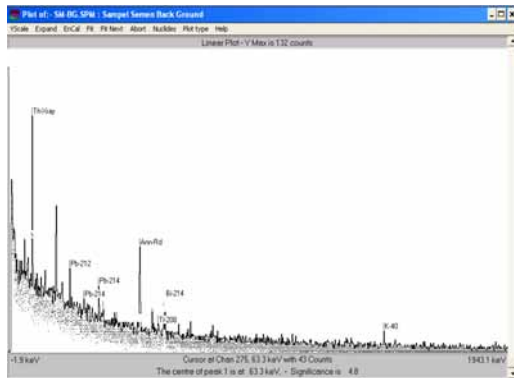
Konsentrasi U, Th, dan K ditentukan menggunakan metode spektrometri sinar- γ dengan material standar RGTh-1, RGU-1

dan RGK-1 yang dimasukkan ke dalam wadah marinelli ukuran 500 mL. Material standar RGU merupakan bijih uranium dan RGTh-1 merupakan bijih thorium yang masing-masing ditambah dengan campuran silika, sedangkan material standar RGK-1 merupakan senyawa kalium sulfat (K_2SO_4). Konsentrasi U, Th, dan K di dalam kedua material standar diperlihatkan pada Tabel 1. Material standar IAEA RGU-1 untuk perhitungan U, RGTh-1 digunakan untuk perhitungan konsentrasi Th, dan RGK-1 untuk perhitungan K.

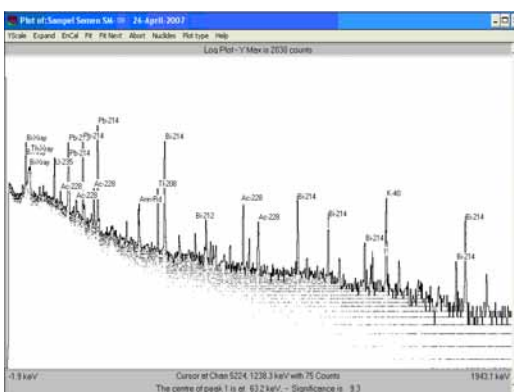
Material standar tersebut dicacah menggunakan spektrometer sinar- γ dengan lama waktu pencacahan yang sama dengan cuplikan. Konsentrasi ^{238}U , ^{232}Th , dan ^{40}K dihitung berdasarkan perhitungan kelimpahan isotop U, Th, dan K di dalam material standar. Pencacahan dilakukan untuk mendeteksi nuklida ^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{228}Ac , ^{212}Pb , dan ^{40}K . Hasil yang diperoleh selanjutnya digunakan untuk menghitung nilai efisiensi energi gamma dari nuklida ^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{228}Ac , ^{212}Pb , dan ^{40}K .

Dengan asumsi bahwa telah terjadi kesetimbangan sekular pada material cuplikan maka konsentrasi ^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{228}Ac , ^{212}Pb dapat ditentukan berdasarkan konsentrasi nuklida induknya. Karena waktu paro induk jauh lebih panjang dari waktu paro nuklida anak luruh maka pada kondisi setimbang konsentrasi anak luruh (^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{228}Ac , dan ^{212}Pb) sama dengan konsentrasi induk (^{238}U dan ^{232}Th). Efisiensi cacahan untuk masing-masing energi gamma dari nuklida anak luruh diperoleh menggunakan persamaan (1). Nilai efisiensi yang diperoleh dari hasil pengukuran

material standar pada masing-masing energi gamma dari nuklida ^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{228}Ac , ^{212}Pb , dan ^{40}K selanjutnya digunakan untuk menghitung aktivitas nuklida tersebut.



Gambar 3. Spektum sinar- γ marinelli kosong (background)



Gambar 4. Spektum sinar- γ cuplikan semen (kode cuplikan SM-09).

Kesembilan cuplikan semen yang telah didiamkan selama empat minggu dicacah dengan spektrometer sinar- γ untuk mendeteksi ^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{228}Ac , ^{212}Pb , dan ^{40}K . Nilai cacahan yang diambil hanya yang memiliki ralat cacahan $< 10\%$. Salah satu bentuk tampilan spektrum sinar- γ dari cuplikan semen dengan kode cuplikan SM-09 diperlihatkan pada Gambar 4. Dengan menggunakan persamaan (1) dan mensubstitusikan masing-masing nilai efisiensi yang telah diperoleh dari pencacahan material standar maka didapatkan konsentrasi ^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{228}Ac , ^{212}Pb , dan ^{40}K dalam cuplikan semen. Konsentrasi nuklida ^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{228}Ac , ^{212}Pb , dan ^{40}K tersebut selanjutnya dengan persamaan (2) digunakan untuk menghitung konsentrasi ^{238}U , ^{232}Th , dan ^{40}K . Hasil perhitungan memperlihatkan konsentrasi ^{238}U , ^{232}Th , dan ^{40}K dalam semen adalah 109,6 Bq/kg; 19,7 Bq/kg; dan 124,8 Bq/kg. Dan dengan persamaan (3) diperoleh konsentrasi rata-rata U, Th, dan K dalam semen adalah $8,8 \pm 0,2 \mu\text{g/g}$; $4,8 \pm 0,3 \mu\text{g/g}$; dan $4189 \pm 139 \mu\text{g/g}$. Hasil perhitungan konsentrasi U, Th, dan K dari seluruh cuplikan diperlihatkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Konsentrasi U, Th, dan K dalam cuplikan semen

No.	Kode cuplikan Semen	Konsentrasi ($\mu\text{g/g}$)		
		U	Th	K
1.	SM-01	$4,6 \pm 0,2$	$3,2 \pm 0,3$	5519 ± 149
2.	SM-02	$6,9 \pm 0,2$	$2,3 \pm 0,2$	4306 ± 137
3.	SM-03	$5,9 \pm 0,2$	$10,8 \pm 0,3$	1638 ± 115
4.	SM-04	$6,8 \pm 0,2$	$2,9 \pm 0,2$	3564 ± 131
5.	SM-05	$9,3 \pm 0,3$	$3,3 \pm 0,3$	5681 ± 159
6.	SM-06	$18,0 \pm 0,3$	$8,9 \pm 0,9$	4738 ± 95
7.	SM-07	$7,2 \pm 0,2$	$3,5 \pm 0,2$	6271 ± 151
8.	SM-08	$14,2 \pm 0,2$	$5,6 \pm 0,3$	2538 ± 145
9.	SM-09	$6,6 \pm 0,3$	$2,9 \pm 0,2$	3445 ± 145

Tabel 3. Konsentrasi U, Th, dan K dalam semen di beberapa negara

Negara	Konsentrasi ($\mu\text{g/g}$)			Ref.
	U	Th	K	
Indonesia	8,8	4,8	4189	(4)
Malaysia	4,1	5,7	27431	(6)
Mesir	2,7	3,4	1483	(7)
Nigeria	4,2	1,0	3026	(8)
Iran	3,5	4,2	4648	(9)
Kuba	1,8	2,6	15404	(10)
Pakistan (Islamabad)	1,7	2,7	3396	(11)
Serbia	3,9	4,2	119	(12)
Swedia	4,4	11,6	7946	(12)
Finlandia	3,5	6,4	7946	(13)
Hongkong	2,9	4,9	6759	(14)
China (Shaanxi)	4,5	9,0	5710	

Konsentrasi U yang cukup besar diperoleh pada pengukuran cuplikan semen SM-06 dan SM-08 dimana daerah produksi dan pemasaran semen tersebut adalah di pulau Sumatra dan Sulawesi. Hasil ini menunjukkan tingginya konsentrasi U di dalam tanah dan batuan di daerah sumber bahan baku.

Konsentrasi U yang tinggi akan berpotensi tinggi lepasan gas radon (^{222}Rn) di samping paparan radiasinya yang juga lebih tinggi. Konsentrasi Th paling besar diperoleh pada pengukuran cuplikan semen putih (SM-03). Konsentrasi Th yang tinggi di dalam semen putih juga menunjukkan tingginya konsentrasi Th di dalam gipsum karena komposisi kimia yang besar di dalam semen putih adalah gipsum. Konsentrasi Th yang tinggi akan berpotensi tingginya lepasan gas thoron (^{220}Rn) di samping paparan radiasinya yang juga tinggi. Adapun konsentrasi K tertinggi diperoleh pada pengukuran cuplikan semen SM-06 dimana produksi dan daerah pemasaran semen tersebut adalah di Nusa Tenggara Timur. Tingginya konsentrasi K dapat disebabkan karena banyaknya senyawa karbonat di

dalam komposisi kimia semen tersebut. Konsentrasi K di semen yang tinggi dapat mempengaruhi tingginya paparan radiasi sinar- γ dari bangunan.

Untuk bahan perbandingan, pada Tabel 3 diperlihatkan beberapa hasil pengukuran konsentrasi U, Th, dan K di dalam semen yang dilakukan di negara lain.

Dalam Tabel 3. diperlihatkan bahwa semen di Indonesia memiliki konsentrasi U, Th, dan K yang hampir sama dengan yang ada di negara lain. Khusus untuk uranium konsentrasi rata-ratanya lebih tinggi, dan konsentrasi U yang tinggi ini hanya terdapat pada daerah tertentu, berdasarkan hasil pengukuran yang sebelumnya telah diperlihatkan pada Tabel 2.

Kontribusi dosis radiasi gamma dari semen di Indonesia termasuk rendah karena aktivitas radium ekuivalen (Ra_{eq}) yang diperoleh adalah 147 Bq/kg, sedangkan nilai batas dosis gamma untuk berbagai jenis material bangunan adalah 1,5 mSv per tahun yang setara dengan nilai Ra_{eq} sebesar 370 Bq/kg.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Spektrometer sinar- γ dapat digunakan untuk menentukan konsentrasi uranium, thorium, dan kalium pada sembilan cuplikan semen yang di ambil dari delapan perusahaan semen di Indonesia. Dari hasil perhitungan diperoleh konsentrasi uranium, thorium, dan kalium yaitu 4,6 – 18 $\mu\text{g/g}$ dengan rata-rata 8,8 $\mu\text{g/g}$, thorium 2,3 – 10,8 $\mu\text{g/g}$ dengan rata-rata 4,8 $\mu\text{g/g}$, dan kalium 1638 - 6271 $\mu\text{g/g}$ dengan rata-rata 4189 $\mu\text{g/g}$. Konsentrasi thorium dan kalium yang diperoleh hampir sama dengan konsentrasi radionuklida alam dalam semen dari beberapa negara, sementara konsentrasi uraniumnya lebih tinggi. Namun demikian kontribusi dosis radiasi gamma termasuk rendah dilihat dari aktivitas radium ekivalen yang diperoleh adalah 147 Bq/kg, dimana nilai tersebut lebih rendah dari batas radium ekivalen untuk jenis material bangunan yaitu 370 Bq/kg.

5. UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Bapak Iwan dari Balai Besar Bahan dan Barang Teknik atas bantuannya dalam pengadaan beberapa cuplikan semen dan kepada ibu Dra. Eem Rukmini atas bantuannya dalam pengadaan beberapa peralatan penelitian.

6. DAFTAR PUSTAKA

1. Barnes P. Structure and performance of cements. Applied Science Publishers.London. 1983.
2. Peterson RS. Experimental gamma ray spectroscopy and investigation of environmental radioactivity. Spectrum Techniques. 1996.
3. Kiefer H, Mausart R. Radiation protection measurement. Oxford:Pergamon Press;1972.
4. Ibrahim N. Determination of natural activity in building material by direct gamma spectrometry. Fresenius Env Bull 1999; 8:72 – 7.
5. Tzortzis M, Tsertos H, Cristofides S, Cristodoulides G. Gamma-ray measurements of naturally occurring radioactive samples from cyprus characteristic geological rocks. Rad Meas 2003;37:221–29.
6. Mahmoud KR. Radionuclide content of local and imported cements used in egypt. J Rad Prot 2007;27:69 – 77.
7. Farai IP, Ejeh JE. Radioactivity concentrations in common brand of cement in nigeria. Radioprotection 2006;41:455–62.
8. Fathivand AA, Amidi J. (2007, January). Assesment of Natural Radioactivity and the Associated Hazards in Iranian Cement, Radiation Protection Dosimetry (online).
9. Brigido FO. Natural radioactivity in some building materials in cuba and their contribution to the indoor gamma dose rate. Rad Prot Dosi 2000;113: 218 – 22.
10. Zaidi JH, Arif SM, Ahmad I, Fatima, Qureshi IH. Determination of natural radioactivity in building materials used in rawalpindi/islamabad area by γ -ray spectrometry and instrumental neutron activation analysis. Appl Rad Isot 1999;51:559–64.
11. Popovic D,Todorovic D. Radon indoor concentrations and activity of

- radionuclides in building material in serbia. Sci J Fact Univ series: Physics, Chemistry and Technology 2006;4:11–20.
12. Gavrilovic DJ, Vucic D. Eco-quality approached to the most common materials built in the solar houses. Sci J Fact Univ series: working and living environmental protection 1999;1(4):85-9
13. Tso MYW, Ng CY, Leung KC. Radon release from building materials in hong kong. Health Physics 1994;67(4).
14. Xinwei LU. Radioactive analysis of cement and its products collected from shaanxi, china. Health Physics 2005;88: 84-6.